

cited against claim 1 in written opinion

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
**INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
 PARIS

①1 N° de publication :
 (à n'utiliser que pour les
 commandes de reproduction)

FR 2 791 137

②1 N° d'enregistrement national : **99 03236**

⑤1 Int Cl⁷ : G 01 N 29/24, G 01 N 29/26

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 16.03.99.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
 demande : 22.09.00 Bulletin 00/38.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
 recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
 présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
 apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : FRAMATOME Société anonyme —
 FR.

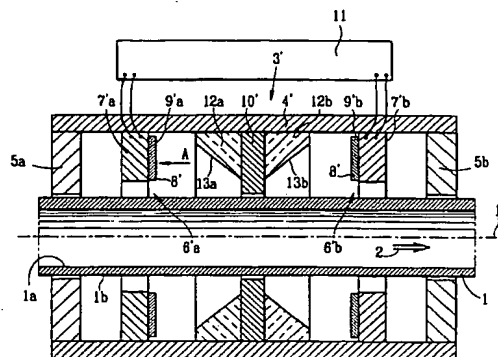
⑦2 Inventeur(s) : PIERRE GUILLAUME.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

⑤4 PROCÉDE ET DISPOSITIF DE CONTRÔLE ULTRASONORE D'UN ÉLÉMENT DE FORME ALLONGÉE ET
 UTILISATION.

⑤7 Le dispositif de contrôle comporte une première et une
 seconde sondes constituées d'un support ayant une surface
 active de révolution (9'a, 9'b) et d'une pluralité d'éléments
 transducteurs d'ultrasons (8') fixés sur la surface active (9'a,
 9'b) du support de la sonde (6'a, 6'b), les sondes étant pla-
 cées dans des dispositions espacées suivant une direction
 axiale (1'), de manière que les surfaces actives (9'a, 9'b)
 des sondes (6'a, 6'b) soient dirigées l'une vers l'autre. Une
 cloison acoustique est disposée entre la première et la se-
 conde sonde (6'a, 6'b) pour arrêter des ondes ultrasonores
 susceptibles de se propager directement entre la première
 et la seconde sondes (6'a, 6'b). On réalise la détection de
 défauts circonférentiels de l'élément de forme allongée, par
 exemple un tube (1), par une méthode pulse-écho en utili-
 sant la première sonde (6'a) et la seconde sonde (6'b) pour
 effectuer des tirs de faisceaux ultrasonores dans un sens et
 dans l'autre, dans la direction axiale (1'). On réalise une dé-
 tecton de défauts longitudinaux de l'élément allongé (1) par
 transmission de faisceaux d'ondes ultrasonores entre la
 première sonde (6'a) et la seconde sonde (6'b).



FR 2 791 137 - A1



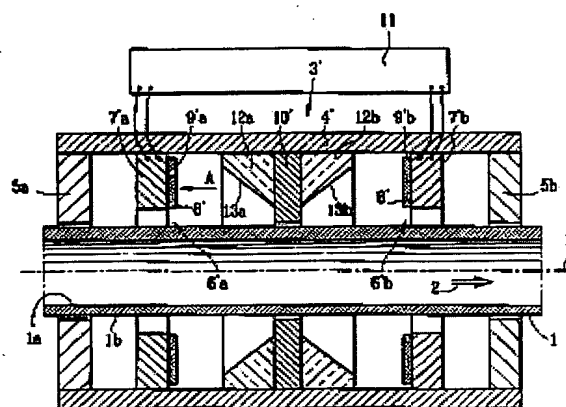
Automatic ultrasonic testing method for use with elongated elements, such as tubes or bars, for detection of circumferential or longitudinal defects has an array of only two probes

Patent number: FR2791137
Publication date: 2000-09-22
Inventor: PIERRE GUILLAUME
Applicant: FRAMATOME SA (FR)
Classification:
- international: G01N29/24; G01N29/26
- european: G01N29/07; G01N29/265
Application number: FR19990003236 19990316
Priority number(s): FR19990003236 19990316

Report a data error here

Abstract of FR2791137

Device comprises first and second probes (6'a, 6'b) fixed relative to each but spatially separated along a common axial direction (1') which is common to both probe supports. The active surfaces of the probe supports (9'a, 9'b) are directed towards each other, with an ultrasonic barrier (10') between the two probes to block any ultrasonic waves that would travel directly between them. An independent claim is made for a procedure for use with the above device for the ultrasonic testing of a tube (1). The probes are rotated around the tube and in a first stage use a pulse-echo technique to detect circumferential defects, and then using transverse ultrasonic beams in a second stage detect longitudinal defects lying parallel to the longitudinal axis (1') of the tube.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

2791137

1

L'invention concerne un dispositif et un procédé de contrôle non destructif par ultrasons d'un élément de forme allongée s'étendant suivant un axe et à section transversale sensiblement constante et en particulier, d'un élément tubulaire.

5 A la sortie des lignes de fabrication de tubes métalliques, il peut être nécessaire d'effectuer un contrôle non destructif, suivant toute la longueur des tubes produits, pour vérifier si ces tubes ne présentent pas de défauts tels que des fissures disposées en particulier dans une direction longitudinale, c'est-à-dire parallèle à l'axe du tube ou encore de défauts de direction
10 circonférentielle, au voisinage de la surface externe ou au voisinage de la surface interne du tube. Les tubes peuvent présenter des dimensions variables et en particulier un diamètre qui peut être compris entre 15 et 90 mm et une épaisseur de paroi comprise entre 1 et 17,5 mm. Il peut être nécessaire d'identifier des défauts de types différents, par exemple des défauts de direction
15 longitudinale situés au voisinage de la surface interne ou de la surface externe du tube ou encore des défauts circonférentiels situés au voisinage de la surface interne ou au voisinage de la surface externe du tube. Ces défauts peuvent être à une profondeur sous la surface du tube allant jusqu'à 4% de l'épaisseur du tube.

20 Il est connu d'effectuer le contrôle non destructif de pièces métalliques, par exemple en sortie de fabrication, par des méthodes mettant en oeuvre des ultrasons.

 On utilise alors une ou plusieurs sondes comportant un ou plusieurs transducteurs d'ultrasons, généralement constitués par des éléments piézo-
25 électriques capables d'émettre un faisceau d'ultrasons lorsqu'ils sont excités par un courant électrique et de recueillir des faisceaux d'ultrasons qui donnent naissance à des courants électriques permettant d'obtenir des enregistrements ou des mesures de défauts tels que des fissures.

30 Les éléments dont on effectue le contrôle peuvent être amenés à se déplacer par rapport aux sondes ou au contraire les sondes peuvent être déplacées par rapport aux éléments à contrôler. Dans le cas de tubes, les sondes peuvent être placées à l'extérieur du tube de manière à diriger vers

2791137

2

la surface extérieure du tube, un ou plusieurs faisceaux d'ondes ultrasonores.

Les tubes en sortie de fabrication peuvent se déplacer dans la direction axiale à une vitesse élevée, par exemple une vitesse supérieure à 1,5m/s. Les sondes ultrasonores de contrôle peuvent alors être placées sur le trajet du tube, de manière à effectuer un contrôle en continu suivant la longueur du tube.

Le faisceau d'ondes ultrasonores, lorsqu'il est réfléchi par un défaut, peut être recueilli soit par un transducteur de la sonde ayant émis le faisceau ultrasonore, la sonde étant alors une sonde émettrice et réceptrice, soit par un transducteur d'une seconde sonde, la première sonde étant une sonde émettrice et la seconde sonde une sonde réceptrice.

Dans le cas de la recherche et de la détection de défauts longitudinaux et de défauts circonférentiels sur des tubes, il peut être nécessaire, de manière à caractériser les défauts, d'effectuer le tir des faisceaux ultrasonores, dans un sens et dans l'autre suivant la direction axiale du tube et, latéralement, dans un sens horaire ou dans un sens anti-horaire, en considérant une propagation des ultrasons dans la paroi du tube. Les tirs d'ultrasons sont réalisés en particulier dans les deux sens axiaux pour la recherche et l'identification des défauts circonférentiels et, latéralement dans le sens horaire et dans le sens anti-horaire, pour la recherche de défauts longitudinaux.

Il peut être également nécessaire de réaliser un contrôle dimensionnel du tube, par exemple un contrôle de diamètre et d'épaisseur en mesurant le temps de propagation d'ondes ultrasonores émises à partir de points d'émission situés sur un même diamètre du tube. Dans tous les cas où l'on effectue un contrôle non destructif ou une mesure sur un tube, il est nécessaire de réaliser un balayage de toute la paroi du tube dans la direction circonférentielle et dans la direction axiale.

Pour réaliser le balayage circonférentiel, une solution consiste à utiliser des têtes de contrôle montées rotatives autour de l'axe du tube portant une ou plusieurs sondes ultrasonores.

2791137

3

Pour effectuer la détection de défauts longitudinaux et de défauts circonférentiels dans des tubes, suivant deux directions de tir du faisceau ultrasonore, et un contrôle dimensionnel du tube, il est nécessaire d'utiliser une tête tournante portant six transducteurs ou sondes permettant de fournir
5 chacune une voie de contrôle ou de mesure.

Pour la détection des défauts circonférentiels, deux sondes ou voies de contrôle sont nécessaires, de manière à diriger un premier faisceau vers la paroi du tube, dans une direction inclinée dans un premier sens axial et un second faisceau incliné dans un second sens axial. La détection est réa-
10 lisée par une méthode pulse-écho, le faisceau réfléchi par un défaut de type circonférentiel étant renvoyé sur la sonde émettrice.

Deux voies ou transducteurs sont également utilisés pour la détection des défauts longitudinaux en ondes transverses. Les transducteurs et les faisceaux émis par ces transducteurs sont dans un plan transversal perpen-
15 diculaire à l'axe du tube et orientés dans des sens opposés, de part et d'autre d'un plan diamétral du tube, de manière que les faisceaux ultrasonores se déplacent dans la paroi du tube, suivant une direction circonférentielle, dans un sens horaire ou dans un sens anti-horaire. On utilise également la méthode pulse-écho, le faisceau ultrasonore réfléchi par un défaut
20 étant renvoyé sur le transducteur d'émission.

Il est également nécessaire de prévoir deux voies de contrôle dimensionnel comportant deux transducteurs de part et d'autre du tube, dans des dispositions alignées suivant un diamètre du tube.

Les faisceaux d'ondes ultrasonores sont envoyés dans la paroi du tube en incidence normale pour réaliser la mesure du diamètre interne et du diamètre externe du tube par réflexion du faisceau ultrasonore sur les surfa-
25 ces du tube. Il peut être également nécessaire d'utiliser un capteur de référence supplémentaire pour mesurer la vitesse du liquide de couplage entre les transducteurs et le tube.

30 Les têtes tournantes utilisées pour le contrôle ou la mesure du tube sont d'une réalisation complexe, dans la mesure où elles comportent un support de sondes monté mobile en rotation, des moyens d'entraînement en rotation des sondes et au moins six sondes ou transducteurs qui doivent être

2791137

4

alimentés en courant électrique et dont les signaux correspondant à la réception des faisceaux ultrasonores doivent être récupérés et exploités.

On a proposé, en particulier dans le FR-2-670.898, un dispositif de contrôle non destructif par ultrasons d'éléments allongés tels que des tubes
5 qui ne comporte pas de partie tournante.

Un tel dispositif de contrôle est réalisé sous la forme d'une sonde multi-éléments comportant un support pour des éléments transducteurs de petite dimension, généralement constitués par des éléments piézoélectriques, qui sont placés de manière adjacente et séquentielle, suivant une direction circulaire ayant pour axe l'axe du tube, sur une surface active du support, par exemple une surface conique, dirigée vers la surface du tube.
10

Les éléments piézoélectriques de la sonde multi-éléments sont alimentés de manière séquentielle en courant électrique et les signaux électriques des éléments piézoélectriques sont également recueillis de manière séquentielle. On réalise ainsi un balayage électronique circonférentiel du tube, de sorte que le contrôle du tube peut être effectué par simple déplacement axial du tube par rapport à la sonde, sans faire tourner la sonde autour de l'axe du tube. Le moyen de pilotage électronique des transducteurs de la sonde permet également de synthétiser un faisceau focalisé dans la paroi du tube à contrôler, en excitant simultanément un groupe de transducteurs d'ultrasons avec une loi de retard appropriée. Des ondes ultrasonores sont également dirigées vers la paroi du tube, avec l'incidence requise pour engendrer des ondes transverses. Des faisceaux d'ondes ultrasonores réfléchis par les défauts sont recueillis par la sonde multi-éléments qui est à la fois émettrice et réceptrice.
15
20
25

Pour éviter d'utiliser une surface active portant les éléments piézoélectriques de forme courbe, par exemple conique, on a proposé, dans le FR-2-738.636, de fixer les transducteurs ou éléments piézoélectriques, sur une surface active plane annulaire d'un support de sonde entourant l'axe du tube et de disposer, en vis-à-vis de la surface active plane, la surface réfléchissante d'un miroir annulaire incliné, par exemple de forme conique, permettant de renvoyer les faisceaux d'ondes ultrasonores émis dans une direction axiale par les transducteurs portés par la surface plane de la sonde, vers la
30

2791137

5

paroi du tube, avec une incidence requise pour produire des ondes transverses de détection des défauts circonférentiels. Les ondes ultrasonores réfléchies par le défaut sont renvoyées par la surface du miroir vers les transducteurs de la sonde multi-éléments.

5 Les sondes multi-éléments qui ont été décrites et qui comportent ou non un miroir de renvoi des faisceaux ultrasonores fonctionnent donc en mode pulse-écho et le faisceau est focalisé électroniquement dans un plan transversal perpendiculaire à l'axe du tube.

10 Dans le cas d'un défaut situé en peau interne, c'est-à-dire au voisinage de la surface intérieure du tube, le faisceau ultrasonore est réfléchi par le défaut avant d'être réfléchi par la surface intérieure du tube. Au contraire, dans le cas d'un défaut en peau externe, c'est-à-dire au voisinage de la surface extérieure du tube, le faisceau ultrasonore est réfléchi par le défaut, après réflexion sur la surface intérieure du tube.

15 Le nombre d'éléments de la sonde correspond généralement au nombre de points de mesure. La finesse du pas du réseau d'éléments piézoélectriques de la sonde est suffisante pour obtenir les performances de focalisation attendues des faisceaux ultrasonores, en déterminant le nombre d'éléments nécessaires en fonction des points de mesure. Généralement on
20 choisi un pas correspondant à cinq à six longueurs d'ondes. Dans le cas d'une sonde ayant un diamètre de 140 mm destinée à l'inspection par l'extérieur, de tubes d'un diamètre de 90 à 100 mm, avec une fréquence des ondes de 5 MHz, on doit utiliser une sonde multi-éléments comportant 250 à 300 éléments piézoélectriques. Une telle sonde permet d'obtenir facilement
25 les performances de focalisation nécessaires des faisceaux ultrasonores.

Pour réaliser la détection de défauts longitudinaux dans les tubes, il est nécessaire de défléchir les faisceaux d'ondes ultrasonores latéralement dans un sens et dans l'autre, dans un plan transversal perpendiculaire à l'axe du tube.

30 On peut utiliser une sonde multi-éléments dont la surface active est sensiblement cylindrique, pour réaliser la détection des défauts longitudinaux par la méthode pulse-écho. Dans le cas où le contrôle du tube est réalisé par l'extérieur, la sonde multi-éléments est une sonde encerclante dont

2791137

6

la surface active cylindrique concave est dirigée vers la surface extérieure du tube.

On peut également utiliser une sonde dont la surface active est plane et de forme annulaire qui comporte de plus un miroir permettant de renvoyer le faisceau dans un plan perpendiculaire à l'axe du tube. Dans le cas où le contrôle est effectué par l'extérieur du tube, le support de sondes comportant la surface active plane annulaire est disposé d'une manière encercle-
5 tant autour du tube en vis-à-vis d'un miroir annulaire dont la surface réfléchissante est inclinée par rapport à l'axe du tube.

Pour effectuer la détection de défauts longitudinaux, il est nécessaire de défléchir les faisceaux ultrasonores latéralement, dans un plan transversal perpendiculaire à l'axe du tube dans un sens et dans l'autre. La déflexion des faisceaux ultrasonores produits par les transducteurs est réalisée élec-
10 tronique.

Pour obtenir une déflexion électronique du faisceau dans un plan transversal perpendiculaire à l'axe du tube, avec une qualité acoustique suffisante, c'est-à-dire avec des lobes d'énergie parasite acceptables, il faut disposer d'un réseau d'éléments piézoélectriques extrêmement dense, avec un pas très fin entre les éléments piézoélectriques, ce pas étant de l'ordre
15 de deux ou trois longueurs d'ondes. Dans le cas d'une sonde ayant un diamètre de 140 mm utilisée pour l'inspection par l'extérieur de tubes d'un diamètre de 90 mm à 100 mm, l'inspection étant réalisée dans l'eau à une fréquence de 5 MHz, il est nécessaire d'utiliser un nombre d'éléments piézoélectriques de l'ordre de 500 à 700.

Les sondes multi-éléments utilisées pour les contrôles de défauts longitudinaux peuvent être également utilisées pour effectuer les contrôles dimensionnels des tubes. Le faisceau d'ondes ultrasonores est alors simplement focalisé dans le tube en incidence normale, c'est-à-dire sans déflexion. L'excitation alternative de deux groupes d'éléments à 180° de la sonde multi-éléments permet d'obtenir l'équivalent de deux voies à 180° uti-
20 25 30 lisées dans le cas de têtes de mesure tournantes.

Pour effectuer le contrôle de tubes d'un diamètre de l'ordre de 100 mm, avec une sonde multi-éléments à balayage électronique équivalente à

2791137

7

une tête tournante de contrôle et de mesure de tube, il faudrait donc prévoir :

- 5 - deux sondes comportant de 150 à 300 éléments piézoélectriques pour la détection des défauts circonférentiels des tubes dans les deux sens et
- une sonde comportant de 500 à 700 éléments pour la détection des défauts longitudinaux dans les deux sens axiaux et pour effectuer le contrôle dimensionnel des tubes.

10 En définitive, le dispositif doit comporter trois sondes ayant un nombre total de voies électroniques compris entre 800 et 1300. Un tel dispositif de contrôle est complexe et coûteux et d'une utilisation délicate.

 L'utilisation de miroirs associés à des éléments piézoélectriques portés par un support de la sonde multi-éléments permet de simplifier et de standardiser la réalisation des sondes dont les surfaces actives sont planes.

15 On peut également diminuer le diamètre de la partie active, pour une épaisseur d'eau imposée, puisque le parcours des ondes ultrasonores passe par le miroir qui défléchit le faisceau en direction du tube.

 Le but de l'invention est donc de proposer un dispositif de contrôle non destructif par ultrasons d'un élément de forme allongée s'étendant suivant un axe et à section transversale sensiblement constante et en particulier, d'un élément tubulaire, comportant au moins une sonde constituée d'un support ayant une surface active de révolution et d'une pluralité d'éléments transducteurs d'ultrasons fixés sur la surface active du support de la sonde

20 autour d'un axe du support disposé suivant l'axe de l'élément de forme allongée pendant le contrôle, dans des dispositions adjacentes, ainsi que des moyens d'excitation électrique des éléments transducteurs pour l'émission d'ondes ultrasonores et de recueil de signaux électriques des éléments transducteurs, commandés de manière à réaliser un balayage électronique de l'élément de forme allongée, autour de son axe, ce dispositif permettant

25 de détecter des défauts circonférentiels s'étendant autour de l'axe de l'élément de forme allongée et des défauts longitudinaux s'étendant parallèlement à cet axe, avec deux sens de tirs des faisceaux ultrasonores, tout en

30

2791137

8

ayant une structure simple comportant un nombre limité d'éléments transducteurs piézoélectriques.

Dans ce but, le dispositif suivant l'invention comporte :

- 5 - une première et une seconde sondes fixées l'une par rapport à l'autre dans des dispositions espacées suivant une direction axiale commune aux supports de la première et de la seconde sondes, de manière à ce que les surfaces actives des supports de sondes soient dirigées l'une vers l'autre et,
- 10 - une cloison acoustique entre la première et la seconde sonde, pour arrêter des ondes ultrasonores susceptibles de se propager directement entre la première et la seconde sonde.

L'invention est également relative à un procédé de contrôle non destructif par ultrasons d'un élément de forme allongée s'étendant suivant un axe longitudinal et à section transversale sensiblement constante et en particulier, d'un élément tubulaire, en utilisant au moins une sonde constituée d'un support ayant une surface active de révolution et une pluralité
15 d'éléments transducteurs d'ultrasons fixés dans des dispositions adjacentes sur la surface active du support de la sonde, autour d'un axe du support disposé suivant l'axe de l'élément allongé pendant le contrôle et comportant
20 des moyens d'alimentation électriques des éléments transducteurs ainsi que des moyens de recueil des signaux des transducteurs, commandés de manière à réaliser un balayage électronique d'une zone de l'élément allongé, de révolution autour de l'axe, caractérisé par le fait :

- 25 - qu'on réalise la détection de défauts circonférentiels de l'élément de forme allongée, c'est-à-dire de défauts s'étendant autour de l'axe, par une méthode pulse-écho, avec tirs de faisceaux d'ultrasons en direction de l'élément de forme allongée, dans un premier et dans un second sens axial, en utilisant une première et une seconde sondes dont les supports sont espacés l'un de l'autre dans une direction
30 axiale commune aux deux supports de sonde et à l'élément de forme allongée et comportant des surfaces actives en vis-à-vis et,
- qu'on réalise une détection de défauts longitudinaux de l'élément de forme allongée, c'est-à-dire de défauts s'étendant parallèlement à

2791137

9

l'axe de l'élément, par transmission dans un sens et dans l'autre entre la première et la seconde sondes de faisceaux d'électrons déviés latéralement par rapport à un plan de symétrie axiale de l'élément allongé, de manière que les faisceaux ultrasonores soient d'abord dirigés par une première sonde vers une surface de l'élément de
5 forme allongée, puis réfléchis par les défauts longitudinaux éventuels vers une seconde sonde.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va maintenant décrire, à titre d'exemples non limitatifs, en se référant aux figures jointes en annexe, un mode de réalisation d'un dispositif de contrôle suivant l'invention et son utilisation pour détecter des défauts circonférentiels et des défauts longitudi-
10 naux dans un tube et pour effectuer un contrôle dimensionnel du tube.

La figure 1 est une vue en coupe axiale d'un tube et d'un dispositif de contrôle suivant l'invention et suivant un premier mode de réalisation, pendant le contrôle du tube par l'extérieur.
15

La figure 2A est une vue en coupe axiale d'un tube et d'un dispositif de contrôle ultrasonore selon l'invention et selon un second mode de réalisation, pendant le contrôle du tube par l'extérieur.

La figure 2B est une vue en coupe axiale d'un tube et d'un dispositif de contrôle ultrasonore selon l'invention et selon une variante du second mode de réalisation.
20

La figure 1A est une vue de face d'une sonde du dispositif de contrôle ultrasonore suivant A de la figure 1 ou de la figure 2A ou 2B.

La figure 3 est une vue en coupe axiale d'un tube et d'un dispositif de contrôle ultrasonore, au cours du contrôle du tube par l'intérieur.
25

La figure 4 est une vue en coupe axiale d'un tube et d'un dispositif de contrôle utilisé pour la détection d'un défaut circonférentiel.

Les figures 5A et 5B sont des vues en coupe axiale d'un tube et d'un dispositif de contrôle ultrasonore suivant l'invention utilisé pour la détection de défauts longitudinaux, respectivement en peau interne et en peau ex-
30 terne.

La figure 5A est relative à la détection d'un défaut longitudinal en peau interne du tube.

2791137

10

La figure 5B est relative à la détection d'un défaut longitudinal en peau externe du tube.

La figure 5C est une vue en coupe transversale du tube et du dispositif de contrôle utilisé pour la détection d'un défaut longitudinal.

5 La figure 5D est une vue en coupe axiale d'un dispositif de contrôle ultrasonore suivant l'invention, montrant le parcours d'un faisceau ultrasonore, en présence d'un défaut longitudinal et en l'absence de défaut dans un tube dont on réalise le contrôle.

10 La figure 6 est une vue en coupe axiale d'un tube et d'un dispositif de contrôle ultrasonore utilisé pour effectuer le contrôle dimensionnel du tube.

15 Sur la figure 1 et sur les figures 2A et 2B, on a représenté un tube 1 qui se déplace dans la direction de son axe 1', dans le sens donné par la flèche 2. Le tube est un tube métallique sur lequel on effectue un contrôle non destructif au défilé, par exemple à la sortie d'une installation de fabrication ou de traitement de tubes.

20 Le contrôle non destructif effectué sur le tube vise en particulier à détecter la présence éventuelle de défauts circonférentiels et de défauts longitudinaux en peau interne ou en peau externe du tube, c'est-à-dire au voisinage de la surface interne 1a ou au voisinage de la surface externe 1b du tube. Le contrôle non destructif peut également être un contrôle dimensionnel du tube, permettant de mesurer en continu les diamètres externe et interne et l'épaisseur de paroi du tube. Les contrôles et mesures doivent être effectués suivant toute la périphérie de la paroi du tube 1.

25 Pour effectuer le contrôle du tube par l'extérieur, par le procédé selon l'invention, on peut utiliser, comme représenté sur les figures 1 et 1A un dispositif de contrôle suivant l'invention et suivant un premier mode de réalisation qui est désigné de manière générale par le repère 3.

30 Le dispositif de contrôle non destructif 3 comporte un boîtier 4 externe qui peut présenter une forme tubulaire cylindrique et qui est partiellement fermé à ses extrémités par un premier et par un second éléments d'un dispositif de centrage qui peuvent être constitués par des disques dont le diamètre de l'ouverture centrale est très légèrement supérieur au diamètre

2791137

11

extérieur du tube 1. Le tube 1 dont on effectue le contrôle est guidé, à l'intérieur du dispositif de contrôle ultrasonore 3, par le dispositif de centrage dont les éléments 5a et 5b constituent des pièces de guidage et de centrage du tube.

5 Le dispositif de contrôle ultrasonore comporte une première sonde 6a et une seconde sonde 6b qui sont réalisées l'une et l'autre sous la forme de sondes multi-éléments permettant de réaliser un balayage circonférentiel du tube 1 en défilement à l'intérieur du dispositif de contrôle.

10 Les sondes 6a et 6b comportent un support respectif annulaire 7a ou 7b fixé sur le boîtier 3, de manière que la distance axiale entre les supports 7a et 7b des sondes 6a et 6b soit fixe ou réglable.

15 Les supports 7a et 7b de forme annulaire présentent un axe commun qui est confondu avec l'axe 1' du tube dans la position de service du dispositif de contrôle dans lequel le tube 1 passe en défilement. Les supports 7a et 7b des sondes 6a et 6b comportent une surface tronconique ayant pour axe l'axe du support, sur laquelle sont fixés des éléments piézo-électriques 8 constituant des éléments transducteurs d'ultrasons. Les surfaces tronconiques 9a et 9b sur lesquelles sont fixés les éléments piézoélectriques 8 constituent les faces actives des sondes 6a et 6b.

20 Comme il est visible sur la figure 1A, les éléments piézoélectriques 8 sont fixés sur la surface active 9a du support 7a de la sonde 6a dans des dispositions adjacentes successives, autour de l'axe du support 7a de la sonde 6a. Bien entendu, les éléments piézoélectriques 8 sont également fixés de la même manière sur la surface active 9b de la sonde 6b.

25 Les surfaces 9a et 9b des sondes 6a et 6b sont dirigées l'une vers l'autre et se trouvent en vis-à-vis à l'intérieur du dispositif de contrôle ultrasonore 3.

30 Entre les supports 6a et 6b des sondes 7a et 7b, le boîtier 4 du dispositif de contrôle ultrasonore porte sur sa surface interne une cloison acoustique 10 interdisant le passage direct d'ondes ultrasonores entre la sonde 6a et la sonde 6b.

 Chacun des éléments piézoélectriques constituant un élément transducteur 8 de l'une des sondes 6a ou 6b est relié par des conducteurs

2791137

12

électriques à une unité 11 de traitement du dispositif ultrasonore. L'unité de traitement 11 assure l'alimentation en courant électrique des éléments piézoélectriques 8 constituant les éléments transducteurs des sondes et le recueil des signaux émis par les transducteurs excités par des ondes ultrasonores en retour.

L'unité de traitement 11 permet de commander l'alimentation des éléments transducteurs 8 de manière à réaliser un balayage électronique du tube 1, autour de l'axe 1' du tube. L'unité permet également d'exciter un groupe d'éléments simultanément de manière à réaliser la synthèse d'un faisceau focalisé et/ou défléchi dans la paroi du tube. L'unité de traitement 11 permet également d'afficher, de garder en mémoire ou d'imprimer des résultats du contrôle ultrasonore.

Sur les figures 2A et 2B qui représentent deux variantes d'un second mode de réalisation de l'invention, les éléments correspondants sont désignés par les mêmes repères.

Le dispositif de contrôle ultrasonore 3' représenté sur les figures 2A et 2B présente une structure d'ensemble sensiblement analogue à la structure du dispositif 3 représenté sur la figure 1, mis à part le fait que les sondes 6'a et 6'b comportent des surfaces actives respectives 9'a et 9'b sur lesquelles sont fixés des éléments piézoélectriques 8' qui sont planes et de forme annulaire, en remplacement de la forme tronconique des surfaces 9a et 9b des sondes 6a et 6b du dispositif 3 représenté sur la figure 1. Dans le cas du dispositif 3 représenté sur la figure 1, l'inclinaison des surfaces tronconiques 9a et 9b dirigée vers la surface du tube 1 en défilement est nécessaire pour effectuer le tir de faisceaux ultrasonores en direction de la surface extérieure du tube 1.

La réalisation de telles surfaces tronconiques de forme très précise sur les supports 7a et 7b des sondes et la fixation d'éléments piézoélectriques 8 de petite dimension sur ces surfaces tronconiques peut présenter des difficultés techniques de réalisation. La réalisation de surfaces annulaires planes telles que 9'a et 9'b et la fixation d'éléments piézoélectriques 8' sur ces surfaces planes annulaires permet de simplifier la réalisation des sondes 6'a et 6'b. Comme précédemment, les supports 7'a et 7'b des son-

2791137

13

des 6'a et 6'b sont fixés sur la surface intérieure du boîtier 4' du dispositif de contrôle ultrasonore 3', de manière que les supports 7'a et 7'b des sondes et leurs surfaces actives 9'a et 9'b soient de révolution et présentent un axe commun qui est confondu avec l'axe 1' du tube introduit à l'intérieur du dispositif de contrôle ultrasonore 3'.

Dans une disposition située entre les supports 7'a et 7'b des sondes 6'a et 6'b et généralement dans une position médiane, le boîtier 4' du dispositif de contrôle ultrasonore porte une cloison acoustique 10' sur laquelle sont fixés un premier miroir 12a dont la surface réfléchissante 13a est dirigée vers la surface active 9'a de la sonde 6'a et un second miroir 12b dont la surface réfléchissante 13b est dirigée vers la surface active 9'b de la seconde sonde 6'b.

Les éléments piézoélectriques transducteurs 8' sont disposés sur les surfaces actives 9'a et 9'b des sondes 6'a et 6'b, de la même manière que les éléments piézoélectriques transducteurs 8 sur les surfaces actives 9a et 9b des sondes 6a et 6b.

Les éléments piézoélectriques transducteurs 8' sont reliés, de la même manière que les éléments transducteurs 8, à une unité de traitement 11 qui permet de réaliser une alimentation séquentielle des éléments transducteurs 8' et un recueil des signaux émis par les éléments piézoélectriques transducteurs. L'alimentation et le recueil des signaux sont commandés de manière qu'on réalise un balayage circonférentiel complet du tube 1 en défilement, autour de son axe 1'.

Les éléments piézoélectriques transducteurs 8' émettent des faisceaux ultrasonores dirigés sensiblement dans une direction parallèle à l'axe 1' commun aux transducteurs et au tube 1, ces faisceaux ultrasonores étant ensuite réfléchis par les surfaces réfléchissantes 13a et 13b des miroirs 12a et 12b en direction de la surface externe du tube 1.

Les surfaces réfléchissantes 13a et 13b des miroirs 12a et 12b peuvent présenter une forme conique, comme représenté sur la figure 2A ou en variante, comme représenté sur la figure 2B, les surfaces réfléchissantes 13'a et 13'b des miroirs 12'a et 12'b peuvent présenter une forme de para-

2791137

14

boloïde ou une forme conique et produite, du fait de leur forme concave ou convexe, une certaine focalisation des faisceaux d'ultrasons.

1) Dans le cas des dispositifs de contrôle ultrasonore représentés sur les figures 1, 2A et 3, la focalisation des faisceaux d'ondes ultrasonores provenant d'un groupe d'éléments transducteurs 8 est réalisée uniquement de manière électronique et réalisée par commande des transducteurs à partir de l'unité de traitement 11.

Sur la figure 3, on a représenté, à l'intérieur du tube 1 d'axe 1', un dispositif de contrôle ultrasonore 3'' permettant d'effectuer le contrôle ultrasonore du tube 1 par l'intérieur.

Dans ce cas, le tube 1 est immobile et le dispositif de contrôle ultrasonore 3'' est déplacé dans la direction de l'axe 1' à l'intérieur du tube, par exemple par poussée ou traction sur un câble ou une tige 14 assurant la liaison du dispositif de contrôle 3'' avec une zone extérieure au tube dans laquelle se trouve placée l'unité d'alimentation et de traitement du dispositif de contrôle ultrasonore.

Le dispositif 3'' de contrôle ultrasonore par l'intérieur du tube comporte un support 4'' sur lequel sont fixés deux centreurs annulaires 5''a et 5''b permettant de centrer et de guider la tête du dispositif de contrôle ultrasonore 3'' à l'intérieur du tube 1. Le support 4'' porte également deux sondes multi-éléments 6''a et 6''b espacées l'une de l'autre suivant la direction axiale 1' et comportant des surfaces actives respectives 9''a et 9''b sur lesquelles sont fixés des éléments piézoélectriques transducteurs 8'', dirigées l'une vers l'autre.

Les sondes 6''a et 6''b sont reliées à des éléments conducteurs permettant d'assurer l'alimentation en courant électrique des éléments transducteurs piézoélectriques 8'' et le recueil des signaux de ces éléments transducteurs. Le câble 14 assure le passage des éléments conducteurs reliés aux sondes 6''a et 6''b vers la zone située à l'extérieur du tube dans laquelle est placée l'unité de traitement à laquelle sont reliées les extrémités des conducteurs d'alimentation et de recueil des signaux.

Les éléments piézoélectriques transducteurs 8'' sont disposés de manière adjacente et successive sur les surfaces actives 9''a et 9''b des

2791137

15

sondes 6''a et 6''b, de la même manière que les éléments piézoélectriques 8 ou 8' représentés sur la figure 1A.

5 Une cloison acoustique 10'', solidaire du support 4'' dans sa partie centrale, entre les sondes 6''a et 6''b permet d'éviter une transmission directe d'ondes ultrasonores entre les transducteurs 6''a et 6''b.

De part et d'autre de la cloison 10'' sont fixés un premier miroir 12''a disposé du côté de la sonde 6''a et un second miroir 12''b disposé du côté de la seconde sonde 6''b.

10 Les miroirs 12''a et 12''b comportent des surfaces réfléchissantes respectives qui peuvent être tronconiques 13''a et 13''b ayant pour l'axe l'axe 1' commun au dispositif de contrôle 3'' et au tube 1' dirigées respectivement vers la surface active 9''a de la sonde 6''a et vers la surface active 9''b de la sonde 6''b.

15 Les éléments piézoélectriques 8'', lorsqu'ils sont alimentés en courant électrique, émettent des ondes ultrasonores dans une direction sensiblement parallèle à l'axe 1' du tube, ces faisceaux d'ondes ultrasonores étant réfléchis vers la surface intérieure du tube 1 par les surfaces de réflexion 13''a et 13''b des miroirs 12''a et 12''b.

20 Sur la figure 4, on a représenté de manière très schématique, un dispositif de contrôle ultrasonore 3' du type représenté sur la figure 2A qui comporte en particulier deux sondes multi-éléments 6'a et 6'b et entre les deux sondes multi-éléments 6'a et 6'b dont les faces actives 9'a et 9'b sont dirigées l'une vers l'autre, une cloison acoustique 10' de part et d'autre de laquelle sont placés deux miroirs 12a et 12b ayant des surfaces réfléchissantes dirigées vers la surface extérieure du tube 1 en défilement dans la direction axiale 1' à l'intérieur du dispositif de contrôle ultrasonore 3'.

25 Dans le cas où un défaut 15, par exemple une fissure, de direction circonférentielle autour de l'axe 1' du tube 1 en défilement à l'intérieur du dispositif de contrôle ultrasonore 3' vient dans une zone recevant le tir de faisceaux ultrasonores 16a et 16b par les sondes 6'a et 6'b, les faisceaux 16a et 16b incidents sur une surface du défaut 15 sont réfléchis par le défaut en direction de la surface réfléchissante du miroir correspondant 12'a ou

2791137

16

12'b pour être renvoyés vers la sonde 6'a ou 6'b d'émission du faisceau 16a ou 16b.

Le traitement et l'enregistrement du faisceau réfléchi permet de réaliser la détection du défaut circonférentiel 15. Le défaut circonférentiel 15 est
5 détecté par méthode pulse-écho, le faisceau ultrasonore ou 16a ou 16b étant réfléchi par le défaut (et par la surface réfléchissante du miroir) en direction de la sonde 6'a ou 6'b ayant émis le faisceau. Le faisceau d'ondes ultrasonores généré par un groupe d'éléments transducteurs adjacents 8' de la sonde 6'a ou 6'b qui peut être focalisé de manière électronique du fait de
10 ses conditions d'émission est émis en direction de la surface réfléchissante du miroir qui assure la déflexion du faisceau d'ondes ultrasonores en direction du tube et impose un angle de propagation du faisceau dans le tube permettant d'assurer la détection des défauts circonférentiels par réflexion du faisceau sur ces défauts. L'orientation de la surface réfléchissante des
15 miroirs par rapport au tube, qui permet d'imposer l'orientation du faisceau d'ondes ultrasonores, est réglée de manière très précise, dans une partie de la surface du miroir dirigée vers la sonde destinée à recevoir les faisceaux incidents.

La réception du faisceau ultrasonore en retour vers la sonde 6'a ou
20 6'b après réflexion par le défaut est assurée par le groupe d'éléments transducteurs ayant produit l'émission du faisceau ultrasonore ou par un groupe d'éléments transducteurs distinct activé pour la réception du faisceau ultrasonore au retour. On détecte ainsi le signal provenant de défauts ou indications éventuelles sur la peau interne ou sur la peau externe du tube.

25 Par utilisation des sondes 6'a et 6'b, respectivement, on produit des tirs de faisceaux ultrasonores dans une première direction axiale donnée par la flèche 17'a sur la figure 4 et dans une seconde direction axiale donnée par la flèche 17'b sur la figure 4. On peut ainsi détecter et caractériser de manière très précise, le défaut circonférentiel 15.

30 Sur les figures 5A, 5B, 5C et 5D, on a représenté, dans le cas du contrôle d'un tube 1 d'axe longitudinal 1' en défilement à l'intérieur d'un dispositif de contrôle ultrasonore 3' du type décrit plus haut et représenté sur la

2791137

17

figure 2A, le parcours de faisceaux ultrasonores permettant de réaliser la détection de défauts longitudinaux dans le tube.

5 Sur la figure 5A, on a représenté, en « projection » dans un plan axial, c'est-à-dire un plan passant par l'axe 1' du tube, le parcours d'un faisceau ultrasonore 18a permettant de déceler un défaut longitudinal 19a situé au voisinage de la surface interne du tube 1.

Sur la figure 5B, on a représenté, en projection axiale, le parcours d'un faisceau ultrasonore 18b permettant de réaliser la détection d'un défaut longitudinal 19b au voisinage de la surface externe du tube 1.

10 Sur la figure 5C, on a représenté, en projection dans un plan transversal perpendiculaire à l'axe 1' du tube 1, deux faisceaux d'ondes ultrasonores 18 et 18' (qui peuvent être des faisceaux tels que 18a émis par la sonde 6a ou tels que 18b émis par la sonde 6b permettant de détecter un défaut longitudinal tel que 19a ou 19b dans la paroi du tube 1.

15 Les faisceaux 18 et 18' (ou 18a et 18b) sont déviés latéralement d'un côté ou de l'autre d'un plan axial 20 de symétrie du tube 1 du dispositif de contrôle ultrasonore 3'.

Comme il est visible sur les figures 5A et 5B, les faisceaux ultrasonores 18a et 18b sont défléchis par les surfaces réfléchissantes du miroir 12a ou du miroir 12b de manière à être dirigés vers la surface du tube 1 et à pénétrer dans la paroi du tube 1 avec une incidence assurant la détection de défauts longitudinaux en peau interne ou en peau externe tels que 19a ou 19b.

20 Comme représenté sur la figure 5C, à l'angle de déflexion imposé par le miroir dans le plan axial, on superpose un angle de déflexion latéral dans un plan transversal, d'un côté ou de l'autre d'un plan de symétrie axiale du tube 20. De cette manière, le faisceau d'ondes ultrasonores tel que 18a ou 18b rencontre le défaut 19a ou 19b qui réfléchit le faisceau dans une direction symétrique par rapport à un plan transversal.

25 Dans le cas d'un défaut 19a situé au voisinage de la surface interne du tube 1 ou défaut en peau interne, le faisceau incident 18a est renvoyé en direction de la surface réfléchissante du miroir 12b qui assure la réflexion du

2791137

18

faisceau 18a dans une direction sensiblement parallèle à l'axe 1' du tube vers la surface active 9'b de la sonde 6'b.

5 Dans le cas d'un défaut longitudinal 19b au voisinage de la surface externe du tube 1 ou défaut en peau externe du tube, comme représenté sur la figure 5B, le faisceau d'ondes ultrasonores 18b réfléchi par le miroir 12a en direction du tube 1 est ensuite réfléchi une première fois par la surface interne du tube, puis par le défaut 19b, une seconde fois par la surface interne du tube 1, avant d'être renvoyé vers la surface réfléchissante du miroir 12b qui réfléchit le faisceau d'ondes ultrasonores en direction de la surface active 9'b de la seconde sonde 6'b. Dans le premier cas, le faisceau d'ondes ultrasonores 18a effectue un demi bond à l'intérieur de la paroi du tube et dans le second cas, le faisceau d'ondes ultrasonores 18b effectue un bond complet à l'intérieur de la paroi du tube pour détecter le défaut en peau externe.

15 Dans les deux cas, le faisceau ultrasonore émis par la première sonde 6'a est récupéré, après réflexion sur le défaut par la seconde sonde 6'b. La détection des défauts est donc réalisée par transmission des faisceaux d'ondes ultrasonores entre une première et une seconde sondes.

20 On effectue des tirs ultrasonores aussi bien à partir de la première sonde 6'a, ces faisceaux d'ondes ultrasonores étant transmis par le défaut entre la première sonde et la seconde sonde, que des tirs à partir de la seconde sonde 6'b, de faisceaux ultrasonores qui sont transmis par réflexion sur le défaut à la première sonde ultrasonore 6'a. On obtient ainsi des tirs de faisceaux ultrasonores dans les deux sens, dans la direction axiale, ce qui permet de mieux détecter et de caractériser les défauts longitudinaux.

25 Comme représenté sur la figure 5D, sur laquelle on n'a fait figurer que le contour du tube 1 en traits mixtes, pour rendre visible le parcours des faisceaux d'ultrasons 21, 21a, 21b, le faisceau 21 émis par un ensemble de transducteurs d'une ouverture de tir 20a de la sonde 6'a est renvoyé, après réflexion sur le miroir 12a et sur un défaut longitudinal 19c, sur le miroir 12b qui renvoie le faisceau réfléchi 21a sur un ensemble de transducteurs d'une ouverture de réception 20b de la sonde 6'b. La sonde 6'b émet un signal représentatif du défaut.

2791137

19

En l'absence d'un défaut tel que 19c, dans le tube 1, le faisceau 21 réfléchi une première fois par la surface réfléchissante 13a du miroir 12a est renvoyé par la surface réfléchissante 13b du miroir 12b (faisceau 21b) vers la sonde 6'b, le faisceau 21b qui n'est pas recueilli par l'ouverture de réception 20b de la sonde 6'b ne produit pas de signal sur la sonde 6'b.

Dans le cas où le faisceau émis par l'une des sondes 6'a ou 6'b ne rencontre pas de défaut en peau externe ou en peau interne du tube, aucun signal n'est donc reçu par la seconde sonde disposée en vis-à-vis de la première sonde ayant émis le faisceau ultrasonore.

Contrairement au cas de la détection de défaut circonférentiel comme décrit plus haut, les faisceaux ultrasonores ne sont pas renvoyés, dans le cas d'un défaut longitudinal, vers la sonde ayant réalisé l'émission du faisceau mais au contraire vers la seconde sonde.

Dans le premier cas la détection est de type pulse-écho et dans le second cas la détection est effectuée en transmission.

Dans le cas de la détection d'un défaut circonférentiel, la discrimination entre défaut en peau interne et en peau externe est réalisée par mesure du temps de parcours ou du temps de vol du faisceau ultrasonore entre son émission et sa réception.

Dans le cas de la détection de défauts longitudinaux en particulier, le parcours des ondes ultrasonores qui permet de détecter un défaut interne (figure 5A) est plus court que celui qui permet de détecter un défaut externe (figure 5B), le parcours pour la détection d'un défaut externe comprenant un rebond supplémentaire à l'intérieur du tube. On peut ainsi réaliser facilement la discrimination entre les défauts internes et les défauts externes.

Comme il est visible en comparant les figures 5A et 5B, les défauts en peau interne se traduisent par une utilisation de zones actives des éléments transducteurs des sondes 6'a et 6'b situées à la partie interne de la surface active des sondes, c'est-à-dire la partie de ces surfaces actives située le plus près de l'axe 1'. Au contraire, la détection de défauts en peau externe met en oeuvre une partie des éléments transducteurs des sondes 6'a et 6'b situées vers l'extérieur des surfaces actives des sondes. Bien entendu, plus l'épaisseur du tube est importante et plus les faisceaux de dé-

2791137

20

tection de défauts en peau interne et en peau externe sont écartés. La hauteur des éléments transducteurs piézoélectriques des sondes doit être choisie en fonction de l'épaisseur du tube à contrôler, pour pouvoir détecter simultanément les défauts en peau interne et en peau externe.

5 L'écartement des miroirs 12a et 12b doit être optimisé en fonction du diamètre du tube. On peut régler par exemple l'écartement des miroirs en changeant la paroi 10' constituant la cloison acoustique.

La cloison acoustique est nécessaire pour éviter de perturber les signaux enregistrés par les sondes, par des signaux produits par des faisceaux provenant directement de la sonde située en vis-à-vis de la sonde de réception, sans passage dans la paroi du tube.

10 Il est également possible d'utiliser le dispositif de contrôle ultrasonore selon l'invention, par exemple le dispositif 3' représenté sur la figure 2A pour réaliser en plus de la détection des défauts, un contrôle dimensionnel du tube.

Sur la figure 6, on a représenté des caractéristiques du dispositif permettant d'effectuer un contrôle dimensionnel du tube et le parcours d'un faisceau ultrasonore permettant d'effectuer un contrôle dimensionnel.

20 Le contrôle dimensionnel est réalisé en utilisant la sonde 6'a et le miroir 12a de déflexion des faisceaux ultrasonores émis par la sonde 6'a.

La surface réfléchissante 13a du miroir 12a comporte une partie d'extrémité externe 22 de forme tronconique dont les génératrices sont inclinées à 45° par rapport à l'axe 1' du dispositif de contrôle et du tube. La partie restante de la surface réfléchissante 13a de forme tronconique présente des génératrices dont l'inclinaison par rapport à l'axe 1' inférieur à 45° permet de défléchir les faisceaux d'ondes ultrasonores tels que 18a en direction du tube, pour atteindre la surface du tube sous une incidence permettant d'effectuer un contrôle de défaut longitudinal ou circonférentiel.

30 Le faisceau d'ondes ultrasonores 18c émis au niveau d'une partie externe de la surface active de la sonde 6'a en direction de la partie externe 22 de la surface réfléchissante 13a est réfléchi en direction de la surface du tube sous une incidence normale, le faisceau ultrasonore étant focalisé soit sur la surface externe, soit sur la surface interne du tube. Le faisceau

2791137

21

d'ondes ultrasonores est renvoyé sur la sonde 6'a. On mesure le temps de vol ou temps de parcours des faisceaux d'ondes ultrasonores, simultanément pour deux zones des sondes situées à 180° autour de l'axe commun aux sondes et aux tubes. Le balayage circonférentiel électronique du tube permet d'effectuer un contrôle dimensionnel en une pluralité de points du tube répartis dans une direction circonférentielle.

La focalisation des faisceaux est réalisée de manière électronique, par commande de l'alimentation et de la réception des transducteurs et éventuellement, de manière complémentaire, en mettant à profit une courbure de la surface réfléchissante du miroir.

Il est à remarquer que la largeur de la surface active annulaire dans la direction radiale, de la sonde 6'a utilisée pour le contrôle dimensionnel est supérieure à la largeur de la surface active de la sonde 6'b. La partie externe de la surface active 6'a peut comporter une ligne circonférentielle supplémentaire de transducteurs utilisés pour l'émission et la réception des faisceaux ultrasonores de contrôle dimensionnel.

Dans le cas de l'utilisation du procédé et du dispositif de contrôle suivant l'invention, on a montré qu'on pouvait réaliser en utilisant seulement deux sondes ayant des surfaces actives en vis-à-vis sur lesquelles sont disposés deux réseaux d'éléments de transducteurs, le contrôle des défauts circonférentiels et le contrôle des défauts longitudinaux avec des tirs de faisceaux d'ultrasons dans les deux sens axiaux. Le dispositif permet également de réaliser le contrôle dimensionnel du tube. Toutes les fonctions requises pour un dispositif de contrôle non destructif et dimensionnel d'un tube sont donc obtenues avec deux réseaux de transducteurs uniquement. De ce fait, on réduit le nombre de transducteurs total nécessaire du dispositif de contrôle non destructif. On simplifie ainsi considérablement les moyens d'alimentation, de réception et de traitement du dispositif de contrôle ultrasonore.

L'utilisation du dispositif en transmission pour la détection des défauts longitudinaux permet également de réduire de façon importante le nombre de transducteurs nécessaires.

2791137

22

En effet, les lobes d'énergie parasites qui sont générés lorsque la densité du réseau d'éléments est faible et qui contribuent, dans une configuration en réflexion, à élever le niveau des signaux acoustiques parasites sur le groupe d'éléments en réception, sont filtrés par le dispositif en transmission. Cela permet, pour un même rapport signal sur bruit donné, d'utiliser des réseaux de transducteurs moins denses dans le cas du dispositif suivant l'invention en transmission que dans le cas d'un dispositif connu, en réflexion par la méthode pulse écho.

En outre, en prévoyant un nombre d'éléments différents sur la première et la seconde sonde du dispositif, on renforce significativement l'amplitude du lobe principale d'énergie par rapport à l'amplitude des lobes d'énergie parasites par un effet de « moyennage » de ces lobes qui ne coïncident pas entre eux du fait de la différence de périodicité des éléments entre les deux sondes.

Dans le cas du dispositif suivant l'invention, les effets combinés du mode de détection en transmission et d'un nombre d'éléments différents sur les deux sondes permettent d'obtenir un effet de déflexion latéral du faisceau nécessaire pour détecter un défaut longitudinal avec un nombre très réduit de transducteurs par rapport au nombre nécessaire pour assurer cette déflexion dans le cas d'une sonde par la méthode pulse écho.

Dans le cas du contrôle d'un tube d'un diamètre de 90 à 100 mm, on peut utiliser deux sondes 6'a et 6'b d'un dispositif de contrôle suivant l'invention dont le diamètre moyen de la surface active est de 140 mm. Sur la surface active d'une première sonde, on place 64 éléments piézoélectriques alignés dans une direction circonférentielle et sur la surface active de la seconde sonde 63 éléments piézoélectriques, le pas entre les éléments de la seconde sonde étant ainsi différent du pas entre les éléments de la première sonde.

En utilisant ces deux sondes en transmission, on peut obtenir une déflexion d'un faisceau ultrasonore de l'ordre d'une dizaine de degrés dans un plan transversal, ce qui est suffisant pour obtenir les angles de propagation recherchés dans la paroi du tube à contrôler.

2791137

23

Le procédé et le dispositif selon l'invention, lorsqu'on utilise des sondes ayant des nombres différents d'éléments transducteurs permettent donc de limiter considérablement le nombre total d'éléments piézoélectriques à utiliser dans le dispositif de contrôle.

5 En outre, le nombre de points de mesure réalisés suivant la circonférence du tube n'est pas limité au nombre d'éléments transducteurs, ce nombre pouvant être égal à 2 ou 4 fois le nombre de transducteurs, si l'on adopte des stratégies de tirs ultrasonores avec des groupes de transducteurs composés alternativement d'un nombre pair ou impair d'éléments.

10 De manière générale, le procédé et le dispositif suivant l'invention permettent d'obtenir toutes les fonctions nécessaires pour le contrôle non destructif et dimensionnel d'un tube par ultrasons avec un balayage électronique circonférentiel du tube tout en utilisant un nombre réduit d'éléments transducteurs et en conséquence des moyens d'alimentation et de traitement simplifiés de ces transducteurs.

15 L'invention ne se limite pas strictement aux modes de réalisation qui ont été décrits.

 C'est ainsi qu'on peut utiliser des sondes ayant des surfaces actives en vis-à-vis d'une forme différente de celles qui ont été décrites. Ces sondes
20 peuvent être associées ou non à des miroirs de déflexion des faisceaux ultrasonores. Les miroirs peuvent avoir une surface réfléchissante de forme adaptée pour effectuer uniquement la déflexion des faisceaux d'ondes ultrasonores ou pour effectuer également une focalisation des faisceaux d'ondes ultrasonores.

25 La paroi d'isolation acoustique peut être réalisée en tout matériau permettant d'obtenir les propriétés d'isolation voulue.

 Dans le cas de tubes ou pièces tubulaires, le contrôle peut être effectué par l'extérieur ou par l'intérieur du tube.

30 Le procédé et le dispositif suivant l'invention peuvent également être appliqués au contrôle non destructif et dimensionnel de barres pleines.

2791137

24

REVENDECATIONS

1.- Dispositif de contrôle non destructif par ultrasons d'un élément 1 de forme allongée s'étendant suivant un axe (1') et à section transversale sensiblement constante et en particulier d'un élément tubulaire (1), comportant au moins une sonde (6a, 6b, 6'a, 6'b, 6''a, 6''b) constituée d'un support 5 ayant une surface active de révolution (7a, 7b, 7'a, 7'b, 7''a, 7''b) et d'une pluralité d'éléments transducteurs d'ultrasons (8, 8', 8'') fixés sur la surface active (9a, 9b, 9'a, 9'b, 9''a, 9''b) du support de la sonde, autour d'un axe du support disposé suivant l'axe (1') de l'élément allongé (1) pendant le contrôle, dans des dispositions adjacentes, ainsi que des moyens (11) 10 d'excitation électrique des éléments transducteurs (8, 8', 8'') pour l'émission d'ondes ultrasonores et de recueil de signaux électriques des éléments transducteurs (8, 8', 8''), commandés de manière à réaliser un balayage électronique de l'élément de forme allongée (1) autour de l'axe (1'), caracté- 15 risé par le fait qu'il comporte :

- une première et une seconde sondes (6a, 6b, 6'a, 6'b, 6''a, 6''b) 20 fixées l'une par rapport à l'autre dans des dispositions espacées suivant une direction axiale (1') commune aux supports de la première et de la seconde sonde, de manière que les surfaces actives (9a, 9b, 9'a, 9'b, 9''a, 9''b) des supports de sondes soient diri- gées l'une vers l'autre et,
- une cloison acoustique (10, 10', 10'') entre la première et la se- 25 conde sonde (6a, 6b, 6'a, 6'b, 6''a, 6''b) pour arrêter des ondes ul- trasonores susceptibles de se propager directement entre la pre- mière et la seconde sonde.

2. Dispositif de contrôle suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que la première et la seconde sondes (6a, 6b) comportent une surface active respective (9a, 9b) dirigée vers la surface de l'élément de forme al- longée (1) à contrôler, pendant le contrôle.

30 3. Dispositif suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que les surfaces actives (9a, 9b) de la première et de la seconde sonde (6a, 6b) ont la forme de surfaces tronconiques ayant pour axe l'axe (1') commun au sup- port des sondes (6a, 6b) et à l'élément allongé (1).

2791137

25

4. Dispositif de contrôle suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que les surfaces actives (9'a, 9'b, 9''a, 9''b) de la première et de la seconde sondes (6'a, 6'b, 6''a, 6''b) sont des surfaces planes annulaires et que le dispositif de contrôle comporte de plus, un premier miroir (12a, 12'a, 12''a) et un second miroir (12b, 12'b, 12''b) ayant des surfaces réfléchissantes respectives (13a, 13b, 13'a, 13'b, 13''a, 13''b) dirigées chacune vers une surface active (9'a, 9'b) d'une sonde (6'a, 6'b).

5. Dispositif suivant la revendication 4, caractérisé par le fait que la surface réfléchissante (13'a, 13'b) des miroirs (12'a, 12'b) peut présenter une forme concave ou convexe, de manière à réaliser une focalisation de faisceaux d'ondes ultrasonores émis par les transducteurs (8') des sondes (6'a, 6'b) dans une direction parallèle à l'axe (1') sur les surfaces réfléchissantes (13'a, 13'b) des miroirs (12'a, 12'b).

6. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé par le fait que les miroirs (12a, 12b) de déflexion des ondes ultrasonores sont fixés de part et d'autre de la cloison acoustique (10', 10''), dans la direction axiale (1').

7. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait que, sur la surface active (9a, 9'a, 9''a) de la première sonde (6a, 6'a, 6''a), est fixé un nombre d'éléments transducteurs (8, 8', 8'') différent du nombre d'éléments transducteurs (8, 8', 8'') fixés sur la surface active de la seconde sonde placée en vis-à-vis.

8. Procédé de contrôle non destructif par ultrasons d'un élément allongé (1) s'étendant suivant un axe longitudinal (1') et à section transversale sensiblement constante et en particulier, d'un élément tubulaire (1), en utilisant au moins une sonde (6a, 6'a, 6b, 6'b, 6''a, 6''b) constituée d'un support ayant une surface active de révolution (9a, 9'a, 9b, 9'b, 9''a, 9''b) et une pluralité d'éléments transducteurs d'ultrasons (8, 8', 8'') fixés dans des dispositions adjacentes sur la surface active (9a, 9'a, 9b, 9'b, 9''a, 9''b) du support de la sonde, autour d'un axe du support disposé suivant l'axe (1') de l'élément allongé (1) pendant le contrôle et comportant des moyens (11) d'alimentation électrique des éléments transducteurs ainsi que des moyens de recueil des signaux des transducteurs; commandés de manière à réaliser

2791137

26

un balayage électronique de l'élément allongé (1), de révolution autour de l'axe (1'), caractérisé par le fait :

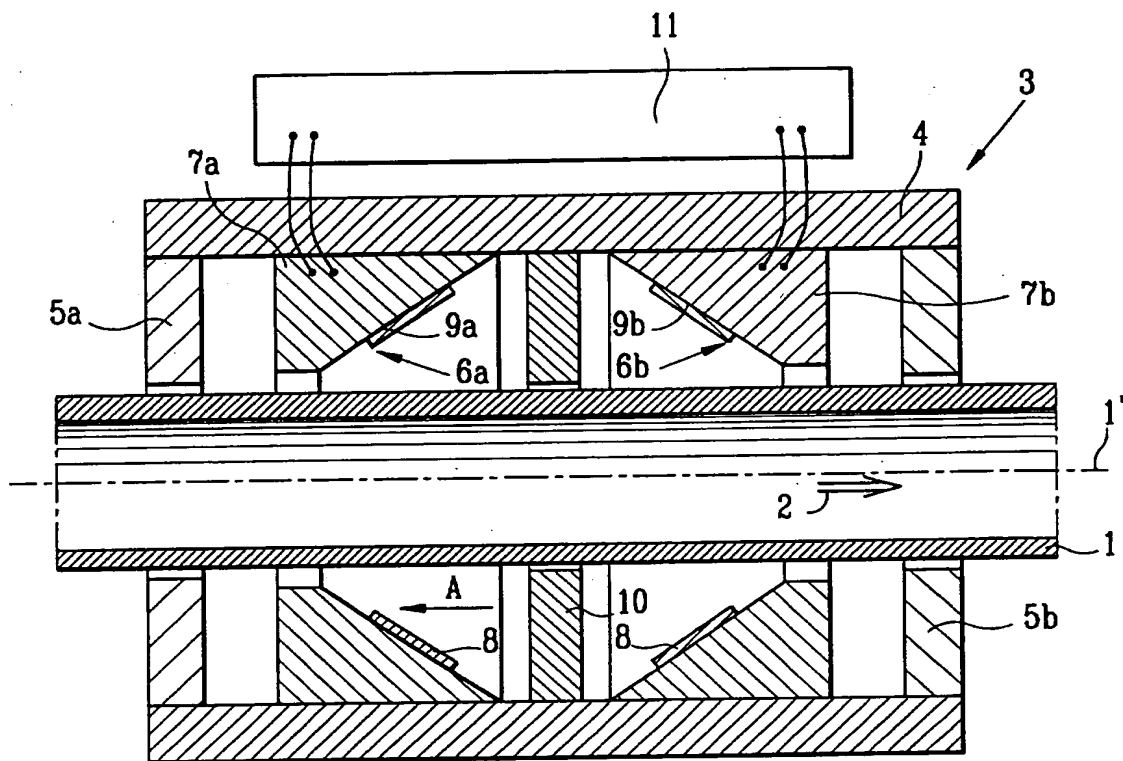
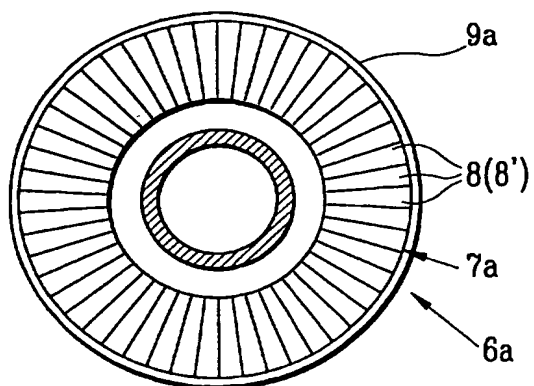
- 5 - qu'on réalise la détection de défauts circonférentiels de l'élément de forme allongée (1), c'est à dire de défauts s'étendant autour de l'axe (1'), par une méthode pulse-écho, avec tirs de faisceaux d'ultrasons dans un premier et dans un second sens axial, en utilisant une première et une seconde sondes (6a, 6b, 6'a, 6'b, 6''a, 6''b) dont les supports sont espacés l'un de l'autre dans une direction axiale (1') commune aux deux supports de sondes et à l'élément allongé (1) et comportant des surfaces actives (9a, 9'a, 9b, 9'b, 9''a, 10 9''b) en vis-à-vis, et
- 15 - qu'on réalise une détection de défauts longitudinaux de l'élément allongé, c'est-à-dire de défauts s'étendant parallèlement à l'axe (1') de l'élément allongé (1), par transmission dans un sens et dans l'autre, entre la première et la seconde sondes, de faisceaux d'ultrasons déviés latéralement par rapport à un plan de symétrie axiale (20) de l'élément allongé (1), de manière que les faisceaux d'ultrasons soient d'abord dirigés par une première sonde vers une surface de l'élément allongé puis réfléchis par les défauts longitudi- 20 naux éventuels vers la seconde sonde.

9. Utilisation du procédé suivant la revendication 8 pour effectuer le contrôle de tubes (1) par l'extérieur des tubes.

10. Utilisation d'un procédé suivant la revendication 8 pour le contrôle de tubes (1) par l'intérieur des tubes.

2791137

1/6

FIG.1FIG.1A

2791137

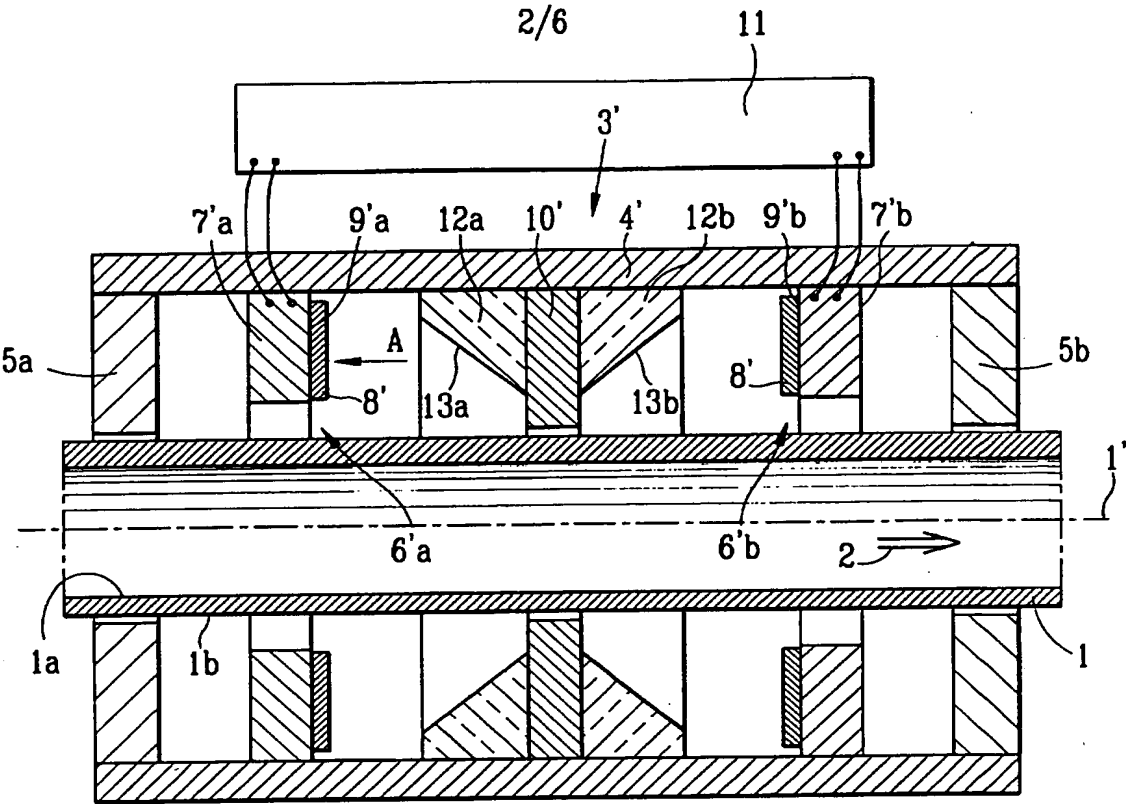


FIG.2A

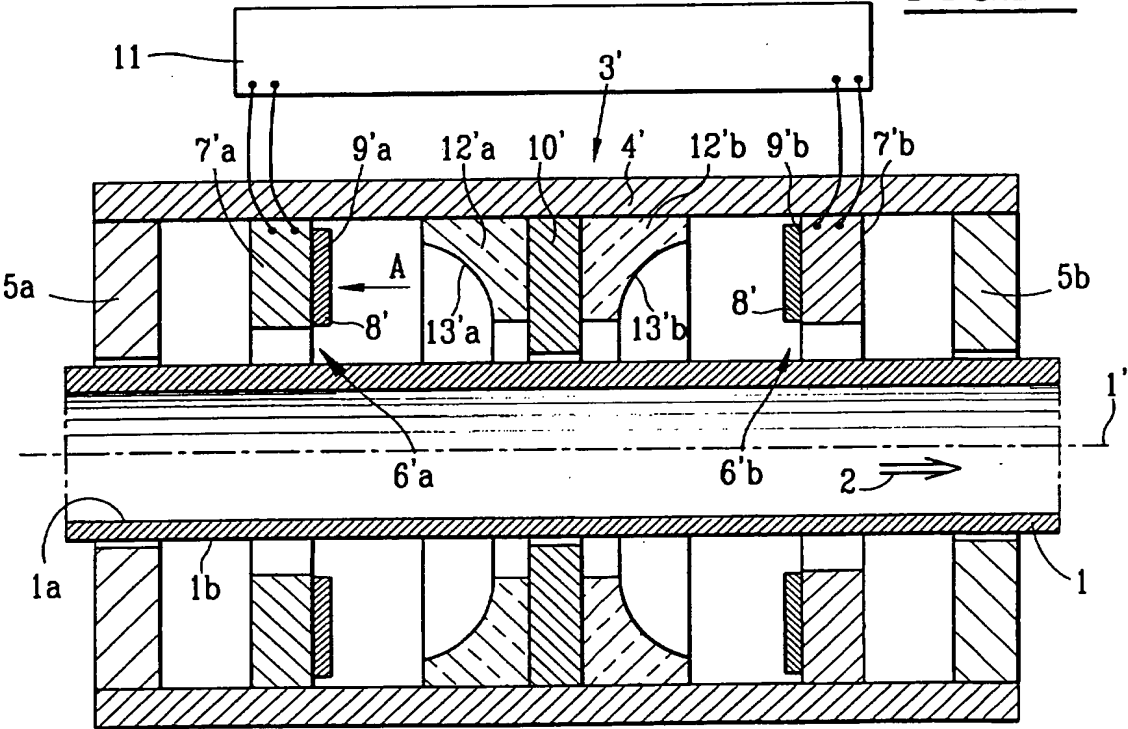
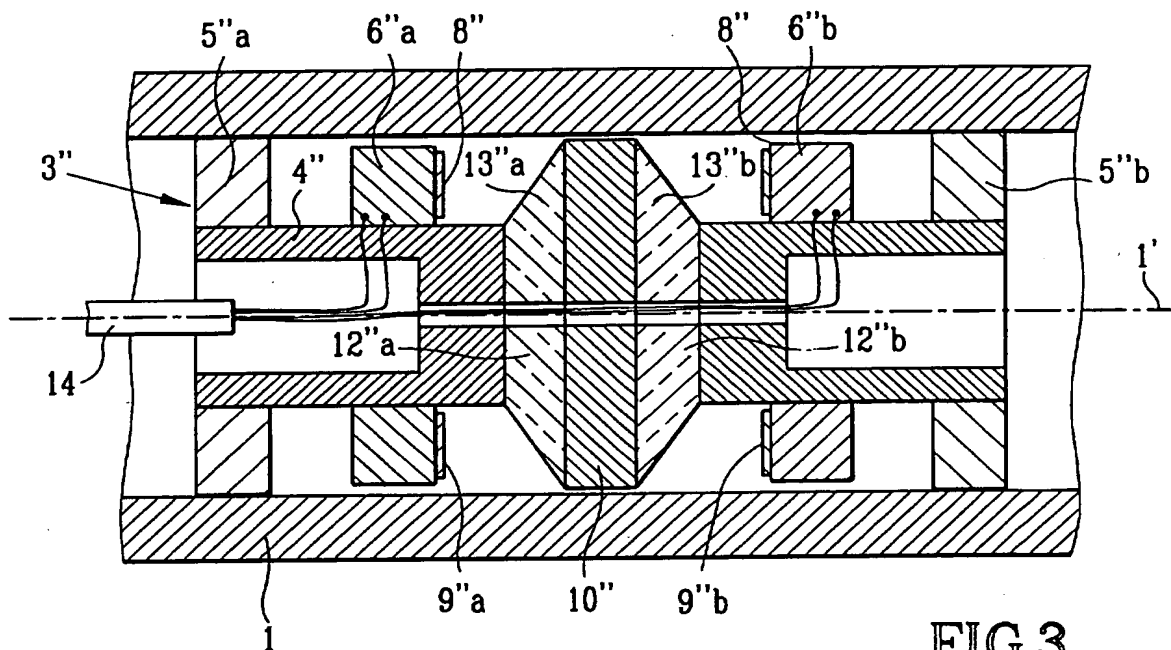
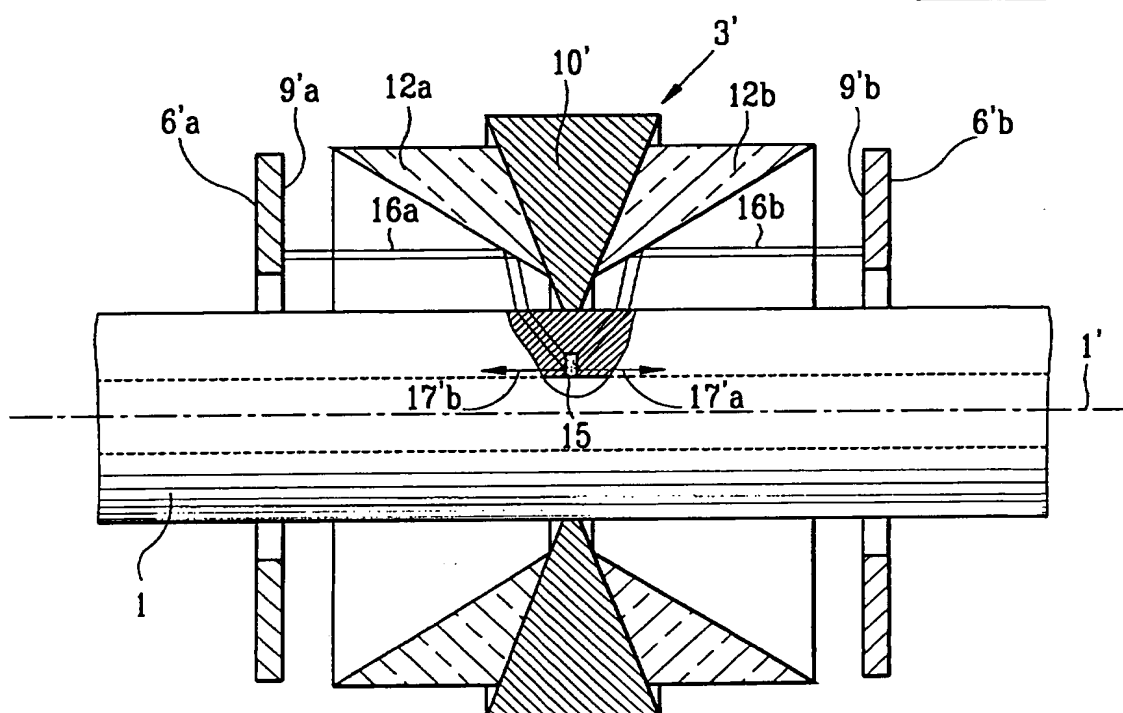


FIG.2B

2791137

3/6

FIG.3FIG.4

2791137

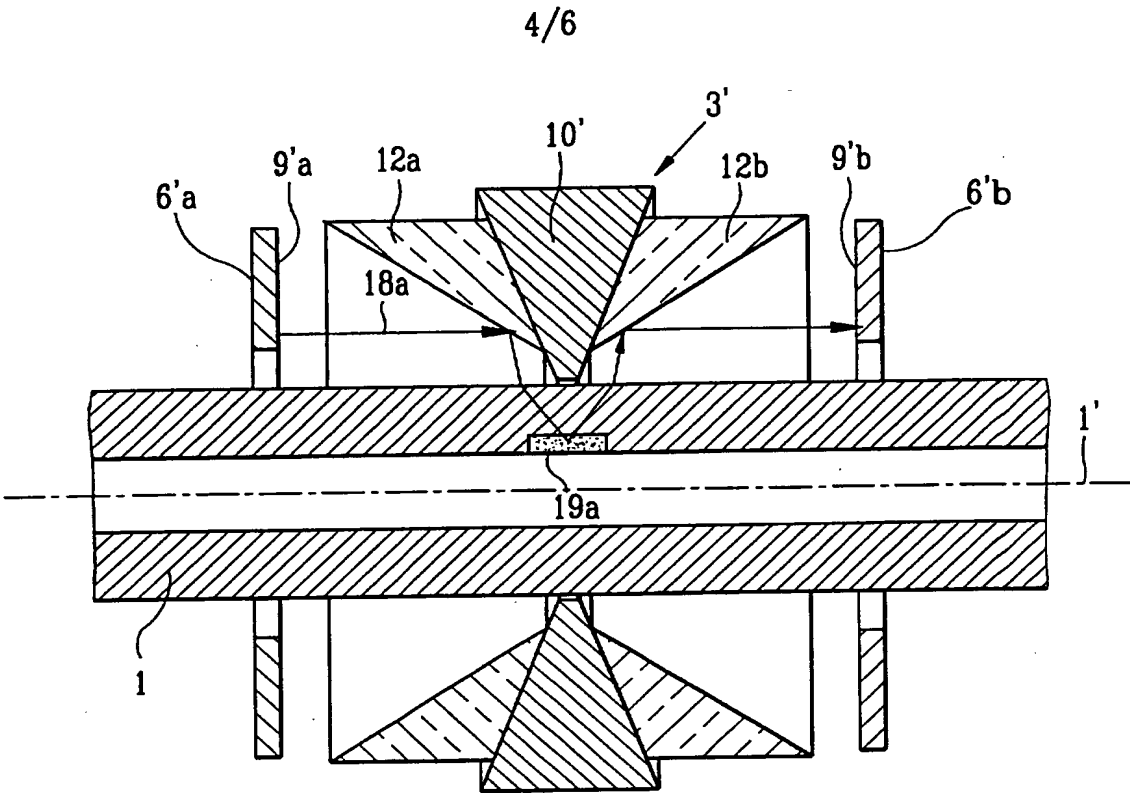


FIG.5A

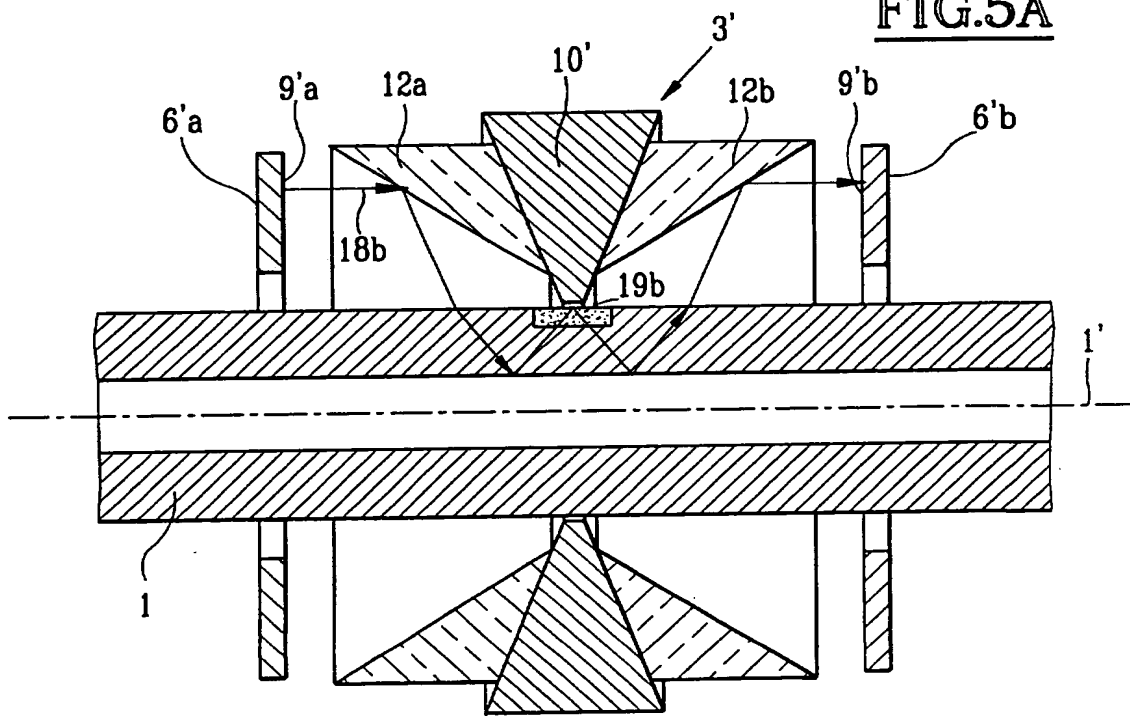
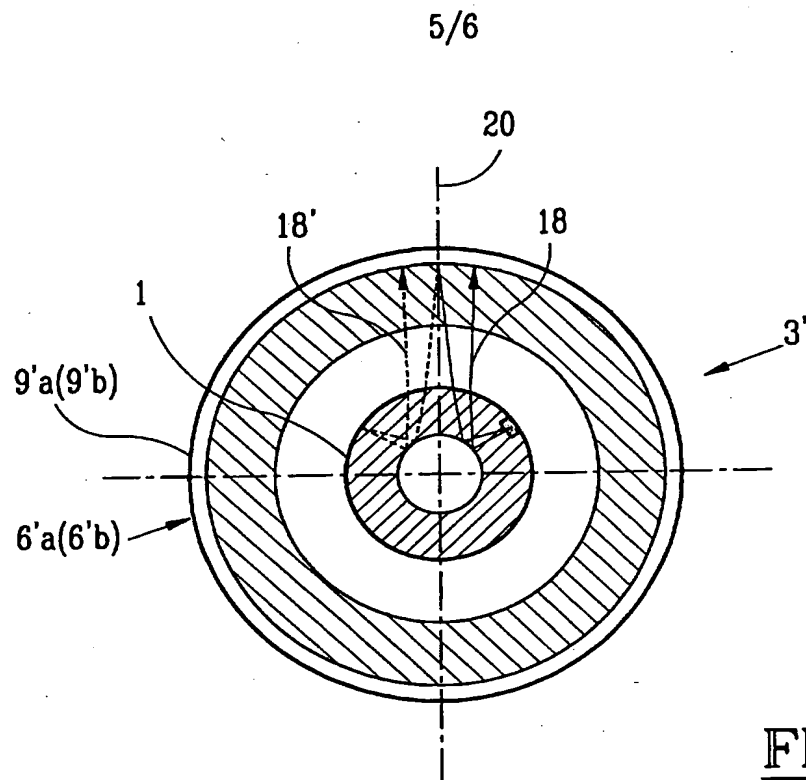
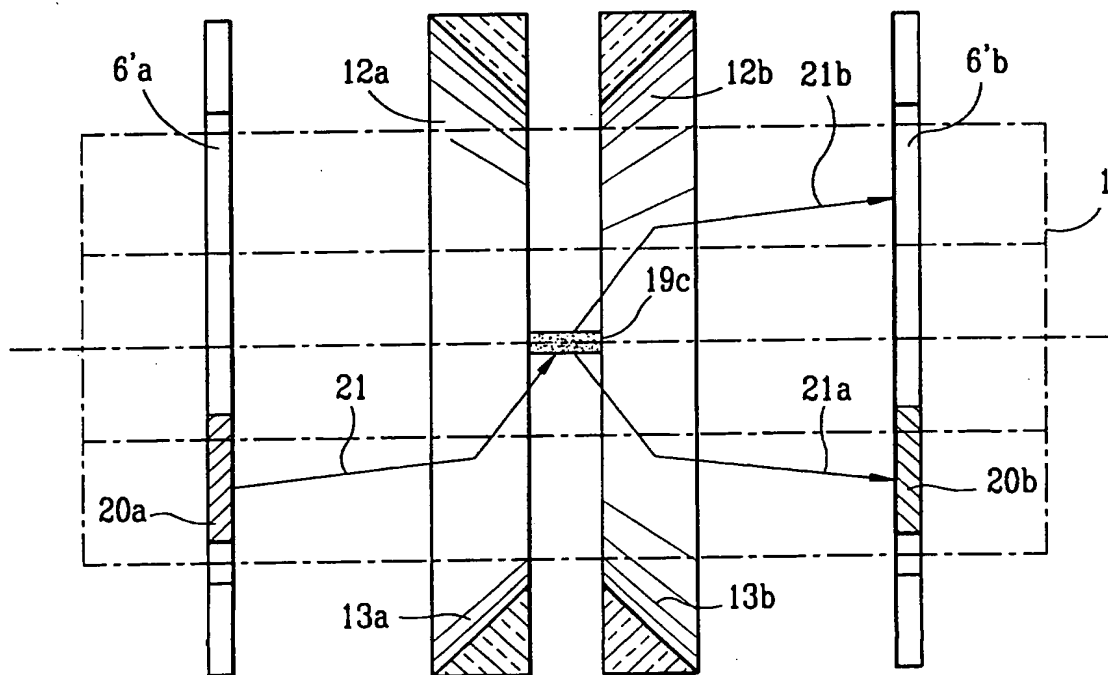


FIG.5B

2791137

FIG. 5CFIG. 5D

2791137

6/6

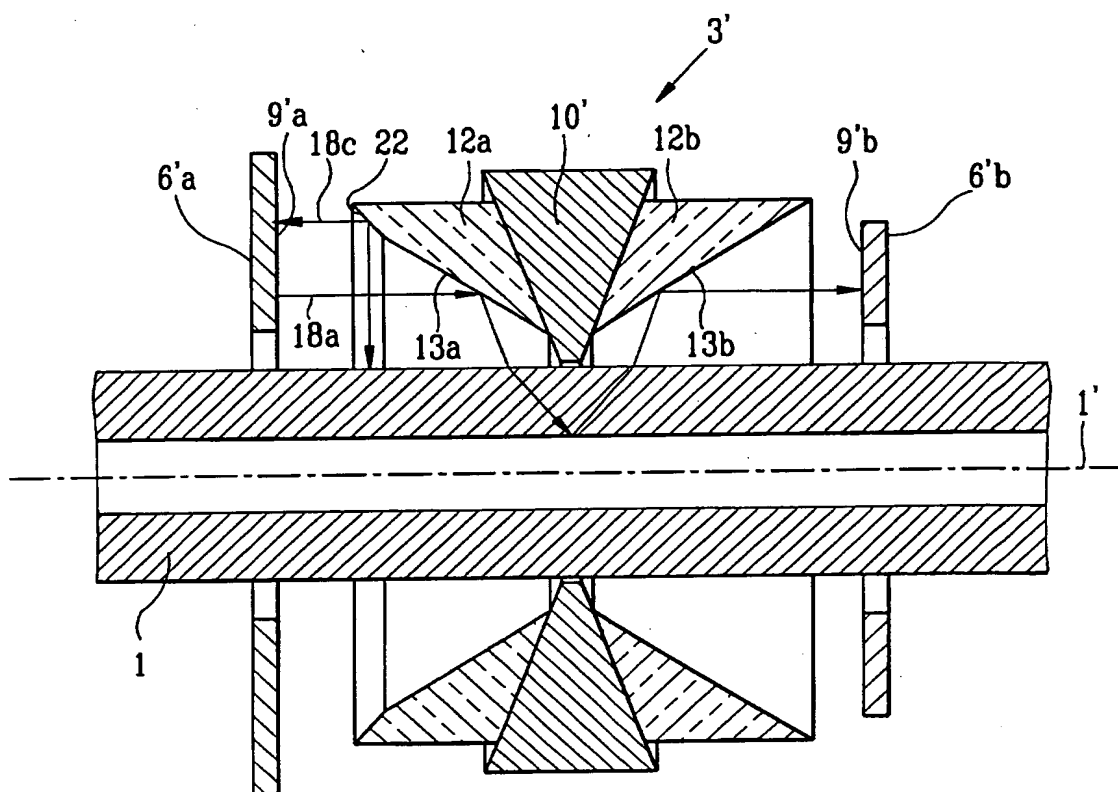


FIG.6

1